

河川におけるSiの動態と付着藻類に及ぼす影響に関する研究

著者	林 到映
号	53
学位授与番号	4052
URL	http://hdl.handle.net/10097/42466

	いむ とよん
氏 名	林 到映
授 与 学 位	博士 (工学)
学位授与年月日	平成20年9月11日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 土木工学専攻
学 位 論 文 題 目	河川における Si の動態と付着藻類に及ぼす影響に関する研究
指 導 教 員	東北大学教授 西村 修
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 西村 修 東北大学教授 大村 達夫 東北大学名誉教授 澤本 正樹 東北大学准教授 中野 和典

論文内容要旨

Si (珪素) は、ほとんどの水界生態系で優占する珪藻の増殖に必要な元素であり、湖沼や海洋の重要な基礎生産者である。この珪藻の増殖阻害による海洋生態系の異変が懸念されている。湖沼において珪藻プランクトンの増殖が起こり、Si の生物学的堆積が助長され、海洋に到達した時点で Si が欠乏していると、Si を必要としない渦鞭毛藻類などが増殖する。珪藻類から非珪藻類へのシフトによる直接的な生態影響は世界各地で報告されており、富栄養化に加えて Si の欠乏もその一因と考えられている。一方、河川生態系に及ぼす影響については未解明の部分も多い。特に、水深が浅い河川では河床付着藻類が一次生産の主役を担っているが、河床付着珪藻類の増殖は DSi (溶存態珪素) 濃度低下に寄与すると同時に、シリカ欠乏に至った場合には自らの栄養環境を損ない、河床付着珪藻類の増殖阻害、さらに食物連鎖を通じた生態影響を引き起こす可能性がある。

本研究ではこのような背景に鑑み、河川における Si の動態と付着藻類に及ぼす影響を解明することを目的とした。この目的を達成するにあたり設定したサブテーマは、河川における Si の流下過程での変化および季節変化に及ぼす要因と付着藻類群落への影響の現場調査からの解析、異なる Si 濃度環境で形成された付着藻類群落が Si 等の河川水質に及ぼす影響の実験的解明、Si 濃度変化が付着藻類群落に及ぼす影響の実験的解明、の3つである。本論文の内容は次のとおりである。

第1章「序論」では、Si の水界生態系における役割、Si 欠損の海域生態系に及ぼす影響を述べ、Si 研究の必要性を明らかにし、本研究の目的について述べた。

第2章「既往の研究」では、河川における Si の動態に関して、起源、挙動 (河川、湖沼・ダム湖、河口部における) をまとめるとともに、Si と藻類の関係に関して、栄養塩としての Si の特徴、珪藻の増殖に及ぼす Si の影響、浮遊性および付着性藻類と Si の関係をまとめ、既往研究から見出された河川における Si の動態と付着藻類に及ぼす影響に関する研究課題を整理した。

第3章「河川における Si 濃度の変化と付着藻類群落との関係」では、実河川における Si の動態を調査し、Si 濃度の変化要因と河床付着藻類群落に及ぼす影響を解析した。さらにそれらの結果を用いて河川における Si 収支を解析した。

調査対象河川は宮城県仙台市泉区の泉ヶ岳から仙台市の北部を流れて太平洋の仙台湾に流れ込む七北田川を対象とした。調査地点は七北田川の上流から下流まで 16 地点を設定し、調査は 2006 年から 2007 年にかけて 5 回行った。その結果、七北田川における Si の動態の特徴としては、七北田ダム湖において減少し、七北田川に流れ込む支流西田中川によって増加し、河口において減少する傾向が明らかだった。ダム湖における Si の減少は、化学量論的な解析から珪藻のシンクによるものと考えられた。また、西田中川の Si 濃度が高いのは、流域の地質として珪酸の溶出ポテンシャルの高い酸性凝灰岩が分布していることに起因すること、河口部での Si 濃度の減少は海水による希釈によることが考えられた。また、Si 濃度の高い西田中川の流入により Si 濃度が有意に高くなった流入部下流地点で、その影響と考えられる珪藻 *Achnanthes* 属の相対密度の増加が認められた。これは、第5章の結果を踏まえると、*Achnanthes* 属の比較的高い Si 要求性に起因すると考えられた。

そして、七北田川の Si 収支の結果は、七北田ダム湖に流入する Si の 1 割以上がダム湖に堆積すること、本流に対して支流からの Si の流入が 1 オーダー大きく Si 収支には地質の影響が大きいこと、浄水場による取水は Si 収支にわずかに影響を与える可能性があるものの、下水処理水放流の影響は認められないことなどが明らかになった。

第4章「Si 濃度の異なる環境で形成された付着藻類群落が水質に及ぼす影響」では、河床付着生物膜が河川水中の Si の動態に及ぼす影響を明らかにすることを目的に実験的解析を行った。

河床礫を採取した七北田川と西田中川の採取地点の Si 濃度はそれぞれ 12.7, 23.4mg/L であった。この河床礫を 3L ビーカーに入れて人工培地(30 倍希釈 Detmer 培地を N(窒素), P(リン), Si が所定の濃度になるよう改変 + 5ppm グルコース)を注入した。またエアープンプによるばっ気を行い、温度は 23 ~ 25°C, 光条件は明条件(照度 4,000Lux)と暗条件を設定した。人工培地の N と P 濃度はそれぞれ 1.0mg/L, 0.1mg/L に設定し、Si 濃度は 14, 28mg/L の 2 段階に設定した。その結果、Si 濃度が低い七北田川より Si 濃度が高い西田中川の河床付着生物膜で珪藻類が多く、Si 吸収速度が高いこと、七北田川と西田中川の河床付着生物膜で N の吸収速度はほぼ等しいものの、Si と N の吸収速度の比は七北田川で 1:1, 西田中川で 4:1 であり、Si 濃度に適応して付着生物膜の構成、機能が決まることが明らかになった。一方、河床付着藻類量と P の吸収の間には明確な相関が見られず、生物膜中での藻類の栄養塩摂取に対する Si の制限が影響した可能性が示唆された。

第5章「Si 濃度変化が付着藻類群落に及ぼす影響」では、河床付着珪藻類の増殖に制限的に働

く Si 濃度に関して知見を得ることを目的とし、Si 濃度が河床付着藻類の群落構造に及ぼす影響を実験的に検討した。

七北田川で 1.5 ヶ月間(6 月～8 月)藻類を付着させたアクリル付着板(縦 5cm×横 5cm×厚さ 0.3cm)をプラスチック人工水路(長さ 150cm, 幅 5cm, 水深約 4cm)6 ラインに設置した。流速は 11cm/sec で人工培地を水路に循環させて流した。人工培地の N と P の濃度はそれぞれ 0.72mg/L, 0.1mg/L に設定し、Si の濃度は 0.2, 4.5, 9mg/L(それぞれ低, 中, 高濃度ラインと呼称, 各 2 ラインずつ)に設定した。なお、栄養塩濃度は 3 日間に 1 度水を入れ替えて調節したため、実験期間中の濃度を測定して求めた平均値を各ラインの濃度とした。温度は 25°C, 照度は 4,000Lux(明暗条件は 12 時間毎)に維持した。

各ラインでの実験期間中の濃度の平均値は、Si 濃度が低, 中, 高濃度ラインそれぞれ 0.2, 4.2, 8.7mg/L となりほぼ設定値に等しかった。また、各ラインとも N は 0.37～0.41 mg/L の範囲にあり、P は 0.05 mg/L と意図した Si : N : P が適切に設定されたと判断できた。

各ラインにおける付着藻類の挙動をみると、Si 濃度の違いは付着藻類密度に対して大きな影響を与えないものの、付着珪藻類密度は、高濃度ライン、中濃度ライン、低濃度ラインの順に小さくなり、Si 濃度が付着珪藻類に制限的に働いた結果と考えられた。特に、Si 濃度が 4.2mg/L の中濃度ラインと 8.7mg/L の高濃度ラインの藻類密度の差に比して Si 濃度が 0.2mg/L の低濃度ラインと中濃度ラインの差は少なく、Si 濃度の制限は Si/P=100, Si/N=5 程度以下のモル比で大きいことが示された。すなわち、レッドフィールド比 (Si/P=16, Si/N=1) 以上の Si 濃度が存在してもある種の珪藻には Si が制限的に働くことが示された。

一方、付着緑藻類密度は中濃度ライン、高濃度ライン、低濃度ラインの順に小さくなり、付着藍藻類密度は低・中濃度ラインより高濃度ラインで高かった。中濃度ラインでの緑藻類の優占率が高かったのは、*Scenedesmus* sp. や *Ankistrodesmus* sp. などの Si を利用して増殖する緑藻類が中濃度ラインで増殖したためと考えられる。また、藍藻類に関しては *Homoeothrix* sp. が優占したが、この理由は、人工培地の窒素源である NO₃-N が高いためと考えられ、Si 濃度に関しては付着藍藻類の増殖に及ぼす直接的な影響はないと判断された。

各ラインでの栄養塩摂取速度については、P の摂取速度を基準にして Si の摂取速度を見ると高濃度ラインで最も大きく、中濃度ライン、低濃度ライン順になった。実験期間中の中濃度ラインでの Si 濃度は高濃度ラインの Si 濃度と比べ約 1/2 だった。しかし、Si 摂取速度は高濃度ラインと比べ約 1/4 だった。この理由は、Si 要求量の低い緑藻類である *Scenedesmus* sp. と *Ankistrodesmus* sp. が他の Si 要求量の高い珪藻類との競争に勝って増加したためであると考えられた。すなわち、緑藻類の中で Si を利用する緑藻類は Si 濃度の影響強く受け、Si 濃度が珪藻類に制限的に働く環境で優占化する可能性が示唆された。

第6章「総括および展望」では、本研究で得られた知見を総括として示した。

以上の通り本研究により、河川における Si の動態と付着藻類に及ぼす影響に対して新たな知見が得られた。しかし、残された課題も多い。特に Si 濃度はレッドフィールド比からみて制限的に働く濃度以上に存在しても河床付着藻類群落到に大きな影響を及ぼす知見は重要である。河川生態系において付着藻類は水中の食物網の物質的基礎の中心となる植物群で、その主なものは珪藻類である。特に川は流水であることから珪藻類の中でも付着性珪藻類が主体となって、河床の砂礫、木片あるいは水生植物に付着した形で生活している。しかし、N、P などの栄養塩濃度の上昇により、珪藻類は緑藻類や糸状の藍藻類などより生産性の高い付着藻類の量を増加させ、これらが河川の一次生産の主体を占めるようになる。さらに本研究でも明らかになったように Si 濃度の低下も関与する可能性がある。このような観点から、Si : N : P のバランスの変化が藻類種の変化を通して複雑な生態影響をもたらす可能性についてさらなる研究を行う必要がある。

論文審査結果の要旨

Si (珪素)は、ほとんどの水界生態系で優占する珪藻類の増殖に必要な元素であり、湖沼や海洋の重要な基礎生産者である。ところが、珪藻類の増殖阻害による非珪藻類へのシフトによる生態影響が世界各地で報告されており、その原因については未解明の部分が多い。本研究は、河川における Si の動態と付着藻類に及ぼす影響を解明するために、河川における Si の流下過程での変化および季節変化に及ぼす要因と付着藻類群落への影響の現場調査からの解析、異なる Si 濃度環境で形成された付着藻類群落に Si 等の河川水質に及ぼす影響の実験的解明、Si 濃度変化が付着藻類群落に及ぼす影響の実験的解明をおこなったもので、全編 6 章からなる。

第 1 章「序論」では、本研究の背景および目的について述べている。

第 2 章「既往の研究」では、河川における Si の動態、Si と藻類の関係に関して既往の知見をまとめ、河川における Si の動態と付着藻類に及ぼす影響に関する研究課題を整理した。

第 3 章「河川における Si 濃度の変化と付着藻類群落との関係」では、仙台市北部を流れる七北田川における Si の動態を調査し、Si 濃度は七北田ダム湖において減少し、七北田川に流れ込む支流西田中川によって増加し、河口において減少すること、ダム湖における Si の減少は珪藻のシンクによること、西田中川の Si 濃度が高いのは珪酸の溶出ポテンシャルの高い酸性凝灰岩が流域に分布しているためであること、河口部での Si 濃度の減少は海水による希釈によることが考えられた。また、Si 濃度に有意差が認められる地点間で、高 Si 濃度の影響と考えられる珪藻 *Achnanthes* 属の相対密度の増加が認められ、その原因は *Achnanthes* 属の比較的高い Si 要求性に起因することが考えられた。さらに、七北田川の Si 収支から七北田ダム湖に流入する Si の 1 割以上がダム湖に堆積することが明らかになった。これらは新規かつ有用な知見である。

第 4 章「Si 濃度の異なる環境で形成された付着藻類群落に水質に及ぼす影響」では、Si 濃度が低い七北田川より採取した河床付着生物膜に比べて Si 濃度が高い西田中川の河床付着生物膜で珪藻類が多く、Si 吸収速度が高いこと、七北田川と西田中川の河床礫で N (窒素) の吸収速度はほぼ等しいものの、Si と N の吸収速度の比は七北田川で 1:1、西田中川で 4:1 であり、Si 濃度に応じて付着生物膜の構成、機能が決まることになった。一方、河床付着藻類量と P (リン) の吸収の間には明確な相関が見られず、生物膜中での藻類の栄養塩摂取に対する Si の制限が影響した可能性が示唆された。これは重要な知見である。

第 5 章「Si 濃度変化が付着藻類群落に及ぼす影響」では、七北田川で藻類を付着させたアクリル付着板を用い、プラスチック人工水路に Si の濃度を 0.2, 4.5, 9mg/L (それぞれ低、中、高濃度ラインと呼称) と設定した人工培地を流下させた実験を行い、各ラインにおける付着藻類の挙動を調査した結果、Si 濃度の違いは付着藻類密度に対して大きな影響を与えないものの、付着珪藻類密度は高濃度ライン、中濃度ライン、低濃度ラインの順に小さくなり、Si 濃度の制限は $Si/P=100$ 、 $Si/N=5$ 程度以下のモル比で大きいこと、すなわちレッドフィールド比 ($Si/P=16$ 、 $Si/N=1$) 以上の Si 濃度が存在してもある種の珪藻には Si が制限的に働くことが示された。一方、付着緑藻類密度は中濃度ライン、高濃度ライン、低濃度ラインの順に小さくなり、中濃度ラインで緑藻類の優占率が高かったのは、*Scenedesmus* sp. や *Ankistrodesmus* sp. などの Si を利用して増殖する緑藻類が他の Si 要求量の高い珪藻類との競争に勝って増加したためであり、緑藻類の中で Si を利用する緑藻類は Si 濃度の影響強く受け、Si 濃度が珪藻類に制限的に働く環境で優占化する可能性が示唆された。これは特に新規かつ有用な成果である。

第 6 章「総括および展望」では、本研究で得られた知見を総括として示し、水界生態系保全における Si : N : P のバランスの重要性についてまとめた。

以上要するに本論文は、河川における Si の動態と付着藻類に及ぼす影響に対して得られた新たな知見をまとめたもので環境工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。